Ontario
Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation

Commande n° 91-082
Décembre 1991
AGDEX 534

Fiche technique

ACIDITÉ DES SOLS ET CHAULAGE

T.E. Bates, Département de la science des ressources du sol, Collège d'agriculture de l'Ontario, Université de Guelph
R.W. Johnston, Collège de technologie agricole de Ridgetown

Traduction de la fiche n° 91-086, Soil Acidity and Liming,
Centre de ressources agro-alimentaires, Collège de technologie agricole et alimentaire d'Alfred

Le pH est un indice qui sert à déterminer le degré d'acidité ou d'alcalinité d'un milieu; il prend une valeur de 0 à 14. Un pH de 7,0 est dit neutre, alors que les valeurs inférieures et supérieures à 7,0 correspondent à des milieux acides et alcalins (basiques), respectivement. Plus le pH du sol est faible, plus celui-ci est acide; plus son pH est élevé, plus le sol est alcalin.

Voici le pH de certains milieux et solutions courants : eau pure, 7,0; jus de citron, 2,2 à 2,4; jus d'orange, 3,4 à 4,0; lait frais, 6,3 à 6,6; solution de savon doux, 8,5 à 10,0; la plupart des sols de l'Ontario, 4,5 à 8,0.

IMPORTANCE DU pH

Le pH joue un rôle particulièrement important dans l'activité biologique et chimique du sol. Or, c'est par le biais des facteurs biologiques et chimiques que le pH exerce une influence considérable sur la croissance des plantes.

En général, les sols sableux acides ont une faible teneur en magnésium et, fréquemment, une faible teneur en calcium. Le calcium est le principal élément neutralisant. Au fur et à mesure que diminue la concentration du calcium et du magnésium dans le sol en raison du lessivage et de la nutrition végétale, les quantités d'ions hydrogène et aluminium augmentent, ce qui a pour effet d'acidifier le sol.

Le phosphore est un élément dont la disponibilité pour les plantes est jugée maximale à des pH avoisinant 6,5, mais sa disponibilité décroît à des pH inférieurs ou supérieurs à cette valeur. Cependant, des études faites en Ontario sur la réaction des cultures à différentes teneurs en fertilisants du sol laissent croire que même les sols dont le pH s'élève à 7,9 contiennent assez de phosphore disponible pour répondre aux besoins des plantes.

L'aluminium, le fer, le manganèse, le bore, le cuivre et le zinc sont plus facilement captés par les végétaux dans un sol acide que dans un sol neutre ou légèrement alcalin. En même temps qu'il permet de désacidifier le sol, le chaulage risque d'entraver sérieusement la disponibilité du manganèse. Il est donc important d'éviter les apports de chaux excessifs.

Bien que le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le bore soient essentiels à la croissance des plantes, celles-ci ne les requièrent qu'en très petites quantités. Une carence en un de ces éléments entraîne toutefois une baisse de rendement des cultures. Dans les sols acides, le manganèse en solution peut devenir toxique et provoquer une chute de rendement. L'aluminium, élément non indispensable à la croissance des plantes, peut également devenir très toxique en sols acides. De son côté, le molybdène est un élément indispensable aux plantes, dont la disponibilité est plus grande en sol alcalin (pH élevé).

Le pH du sol exerce d'autres influences sur les cultures. Mentionnons par exemple les légumineuses, comme la luzerne, le lotier, le trèfle et le soya, lesquelles abritent dans les nodosités de leurs racines des bactéries qui vivent en association avec la plante et transforment l'azote de l'air en une forme assimilable par elle. Or, certaines souches de ces bactéries se multiplient davantage à des pH supérieurs à 6,0, une gamme de pH qui conviendra ainsi davantage à de nombreuses légumineuses cultivées. Autres exemples : la gale de la pomme de terre est plus fréquente à des pH supérieurs à 5,5, même si cette culture s'accommode bien des sols à pH élevé; la hernie des crucifères (famille du chou) est plus rare à un pH égal ou supérieur à 7,2; chez le tabac, la maladie du pourridié noir est plus fréquente à des pH plus élevés que 6,4; des plantes comme le rhododendron et le bleuetier ne poussent bien qu'à des pH inférieurs à 5,5, valeur au-dessus de laquelle ces plantes semblent souffrir de carence en fer et (ou) en manganèse. Tout porte à croire qu'un pH peu élevé est en fait nécessaire à la croissance de champignons microscopiques bénéfiques aux racines de ces deux espèces végétales. Par ailleurs, la plupart des grandes cultures réussissent mieux dans des sols dont le pH est compris entre 5,5 et 8,0. Chez les espèces communes de grandes cultures et de légumes, c'est à un pH inférieur à 5,0 que l'aluminium et le manganèse peuvent devenir toxiques.

COMMENT LES SOLS DEVIENNENT ACIDES

Un sol est alcalin lorsqu'il est riche en ions basiques, principalement en ions calcium et magnésium et, à un moindre degré, en ions potassium et sodium. La plupart des sols du sud de l'Ontario, formés à partir d'une roche mère de type soit essentiellement calcaire (riche en carbonate de calcium), soit dolomitique ou calcomagnésien (riche en carbonate double de calcium et de magnésium), étaient donc

92-06643/

alcalins à l'origine. En revanche, de nombreux sols du nord de l'Ontario sont acides, étant issus d'autres types de roche mère, comme le granit, qui renferment peu de bases telles que le calcium et le magnésium.

Les sols ont une tendance naturelle à s'acidifier, compte tenu du lessivage continuel qu'exerce la pluie depuis des centaines et des milliers d'années sur les réserves de calcium, de magnésium et de potassium du sol. De plus, les apports d'engrais acidifiants, principalement l'azote, accélèrent considérablement l'acidification des sols (tableau 1). L'influence des engrais azotés sur le pH des sols de l'Ontario est illustrée au tableau 2.

Tableau 1 Quantités de chaux nécessaires pour neutraliser l'acidité due à quelques engrais courants*

Engrais	Formule (%)	Par 100 kg** d'engrais	Par kg** d'azote fourni par l'engrais
Nitrate d'ammoniaque	34-0-0	60	1,8
Urée	45-0-	81	1,8
Ammoniac anhydre	82-0-0	148	1,8
Ammoniaque (liquide)	20-0-0	36	1,8
Solution azotée	28-0-0	50	1,8
Sulfate d'ammoniaque	21-0-0	110	5,4
Phosphate monoammonique	12,5-50-0	65	5,0
Phosphate diammonique	18-46-0	90	5,0
Superphosphate	0-20-0	0	0
Superphosphate triple	0-46-0	0	0
Chlorure de potassium	0-0-60	0	0
Sulfate de potassium	0-0-50	0	0
Sulfate de potassium/magnésium	0-0-21 (10 Mg)	0	0

**Adapté de : ANDREWS, The Response of Crops and Soils to Ferlizers and Manures, 2e édition, 1954*

***Dans ce tableau, on peut employer des kilogrammes ou des livres, en autant que l'unité choisie soit la même dans les deux colonnes.*

Tableau 2 Effet d'un apport annuel d'azote pendant 5 ans et 15 ans sur le pH des 15 premiers cm (6 po) de deux types de sol cultivés en maïs

Dose annuelle d'azote kg/ha	pH du sol
	Loam sableux* 5 ans
0	6,4
112	6,0
224	5,4
336	4,6
	Loam argileux** 15 ans
0	5,4
298	4,7
332	4,4
0 (luzerne)	5,2

**Communication personnelle, de W.J. Findlay, Agriculture Canada, Harrow (Ontario)*

***E.F. Bolton, J.A. Aylesworth et W.J. Findlay, Can. J. Soil Sci. 50 : 260-261, 1970*

Bien que les pluies acides contribuent à l'acidification des sols de l'Ontario, leur action au cours d'une année est nettement moins prononcée que celle des engrais azotés courants.

En Ontario, de nombreux sols d'un pH supérieur à 7,0 renferment des particules de carbonate de calcium et de magnésium qui libèrent continuellement des ions calcium et magnésium, compensant ainsi les pertes résultant de l'extraction par les cultures et du lessivage. Tant que les réserves de ces sols en carbonate de calcium et de magnésium ne sont pas épuisées, l'épandage d'engrais azotés n'a, à toute fin utile, aucun effet à long terme sur leur pH. Dans la plupart de ces sols, un tel effet ne se ferait pas sentir avant de nombreuses années.

RÉGIONS À SOL ACIDE DE L'ONTARIO

Les plus vastes territoires connus pour leurs sols acides se trouvent dans la zone argileuse du comté de Haldimand et dans les régions du nord et du sud de Niagara. Des zones plus limitées s'étendent à travers les comtés de Wentworth, de Halton et de Peel, et plus à l'ouest vers les régions à loam sableux des comtés de Norfolk, d'Elgin, de Kent et d'Essex. C'est dans les sols sableux des comtés de Lake Erie, dont l'acidité s'est accrue considérablement au cours des dernières années, qu'on a signalé des pH parmi les plus bas (jusqu'à 3,2) de la province. Dans l'est de l'Ontario, on retrouve une proportion appréciable de sols acides, c'est-à-dire dans les comtés de Prescott, de Russell et de Frontenac, et, dans des zones de moindre étendue, dans quelques comtés voisins. Tous les districts du nord de l'Ontario ont une forte proportion de sols acides, à l'exception du bassin de la Rainy River et des ceintures d'argile de Temiskaming et de Cochrane.

ZONES DE FAIBLE pH

Dans le sud-ouest de l'Ontario, on a fréquemment observé la présence de petites zones à faible pH dans des champs dont le pH moyen ne commandait pourtant pas le chaulage. Ces zones acides ponctuelles sont le plus souvent de texture grossière, comme des sables, au milieu de champs dont la texture prédominante est fine (argiles ou loams argileux). On a par exemple signalé un pH de 3,2 dans un endroit précis d'un champ dont le pH moyen était supérieur à 6,0.

Il est préférable d'analyser le sol tous les 2 ou 3 ans pour connaître son pH et ses besoins en fertilisation. Dans un champ dont la texture du sol n'est pas uniforme, il convient d'échantillonner séparément les zones à texture plus grossière (ou les zones à problèmes).

REDRESSEMENT DE L'ACIDITÉ DES SOLS

Sur un sol acide, les cultures donnent la plupart du temps de faibles rendements; il est souvent indispensable d'y effectuer un chaulage pour s'assurer d'une production rentable (voir tableau 3). Dans l'exemple illustré au tableau 3, l'épandage de 7 t de chaux par hectare la première année a permis de réaliser un bénéfice net de 108 $/ha, compte tenu du prix du maïs à 118 $/t et de la chaux à 25 $/t épandue. Étant donné l'amortissement du coût de la chaux dès la première année, l'augmentation de rendement de 2,4 tonnes/ha les

années suivantes constitue un profit net. En général, la chaux épandue persistera au moins trois ans dans le sol. Il n'est pas rare que son effet bénéfique se prolonge jusqu'à dix ans.

Tableau 3 Influence d'un calcaire dolomitique sur le rendement du maïs, le pH et la teneur en magnésium d'un loam sableux acide, 1975-1978*

Dose de calcaire dolomitique t/ha	Rendement en grains t/ha	pH du sol 1re année	PH du sol 4e année	Mg du sol (ppm) 1re année
0	5,0	4,3	4,5	33
7	7,4	5,5	5,7	175
13	8,0	6,0	5,8	200+
20	7,9	6,3	6,3	200+
27	8,1	6,4	6,5	200+

** De R.W. Johnston, Collège de technologie agricole de Ridgetown*

Pour corriger l'acidité d'un sol, on doit épandre à la volée la pierre à chaux broyée et l'enfouir par une façon superficielle, selon les doses déterminées par les analyses de sol.

Le tableau 4 illustre les valeurs de pH au-dessous desquelles un sol doit être chaulé ainsi que les pH cibles en fonction des cultures. En Ontario, la plupart des cultures s'accommodent bien d'un pH supérieur aux pH cibles recommandés.

Tableau 4 Valeurs de pH pour lesquelles le chaulage est recommandé en Ontario, selon les cultures

Cultures	pH au-dessous duquel le chaulage est recommandé	pH cible*
Sols minéraux à texture moyenne ou grossière (sables, loams sableux, loams et loams limoneux)		
Légumineuses vivaces, avoine, blé, orge, triticale, haricot, pois, Canola, lin	6,1	6,5
Maïs, soya, seigle, foin de graminées, pâturage et tabac	5,6	6,0
Sols minéraux à texture fine (argiles et loams argileux)		
Luzerne	6,1	6,5
Autres légumineuses vivaces, avoine, blé, orge, triticale, haricot, pois, soya, Canola, lin	5,6	6,0
Maïs, seigle, foin de graminées, pâturage et tabac	5,1	5,5
Sols organiques (tourbes, terres noires)		
Toutes les grandes cultures	5,1	5,5

**Dans le cas d'une rotation dont l'une des cultures demande un pH plus élevé que les autres (par exemple, du maïs en rotation avec du blé et de la luzerne), on recommande de retenir le pH cible le plus élevé.*

POUVOIR TAMPON DU SOL

Pour élever à un pH cible identique le pH de sols différents ayant un même pH, par exemple 5,2, il est nécessaire d'utiliser des doses de chaux différentes, étant donné, principalement, les différences entre la teneur en argile et en matière organique de chaque sol. Le pH sert à déterminer les sols nécessitant un chaulage, mais ceux-ci doivent ensuite faire l'objet d'une autre analyse destinée à évaluer leur pouvoir tampon, qui permettra de calculer les quantités de chaux à apporter à chacun d'eux. À l'aide du tableau 5, on pourra déterminer les quantités de chaux requises pour amener au pH souhaité les sols nécessitant un chaulage, en fonction de leur pouvoir tampon.

Tableau 5 Quantités de chaux nécessaires pour corriger l'acidité d'un sol, en fonction de son pH et de son pouvoir tampon

Pouvoir tampon	pH cible* = 7,0	pH cible = 6,5 (chauler si le pH est inférieur à 6,1)	pH cible = 6,0 (chauler si le pH est inférieur à 5,6)	pH cible = 5,5 (chauler si le pH est inférieur à 5,1)
Quantité de chaux broyée nécessaire en t/ha (chaux titrant à un indice de valeur agricole de 75)				
7,0	2	2	1	1
6,9	3	2	1	1
6,8	3	2	1	1
6,7	4	2	2	1
6,6	5	3	2	1
6,5	6	3	2	1
6,4	7	4	3	2
6,3	8	5	3	2
6,2	10	6	4	2
6,1	11	7	5	2
6,0	13	9	6	3
5,9	14	10	7	4
5,8	16	12	8	4
5,7	18	13	9	5
5,6	20	15	11	6
5,5	20	17	12	8
5,4	20	19	14	9
5,3	20	20	15	10
5,2	20	20	17	11
5,1	20	20	19	13
5,0	20	20	20	15
4,9	20	20	20	16
4,8	20	20	20	18
4,7	20	20	20	20
4,6	20	20	20	20

** Le chaulage pour un pH cible de 7,0 n'est recommandé que pour la lutte contre la hernie des crucifères.*

ÉPANDAGE ET ENFOUISSEMENT DE LA CHAUX

La chaux n'est efficace que si elle est mélangée au sol. On doit l'épandre uniformément et l'enfouir à une profondeur de 15 cm (6 po). Les doses de chaux recommandées dans la présente fiche devraient élever le pH de cette couche de sol aux niveaux cibles inscrits au tableau 5. Si on laboure le sol à plus de 15 cm de profondeur, il faudra chauler proportionnellement davantage pour atteindre le même pH cible. À l'inverse, pour un labour moins profond, on réduira d'autant les doses de chaux, en augmentant néanmoins la fréquence du chaulage.

QUALITÉ DE CHAUX

La valeur d'un amendement calcique dépend de deux facteurs clés. Le premier se rapporte à la quantité d'acide qu'un type de chaux peut neutraliser quand elle est totalement

dissoute. Cette capacité se nomme «pouvoir neutralisant» et on l'exprime en pourcentage du pouvoir neutralisant du carbonate de calcium pur. On attribue par exemple un pouvoir neutralisant de 90 à une chaux capable de neutraliser 90 % autant d'acide que le carbonate de calcium pur. En général, le pouvoir neutralisant de la chaux est d'autant plus élevé que sa teneur en calcium et en magnésium est forte.

Le second facteur influençant l'aptitude de la chaux à neutraliser l'acidité réside dans la taille des particules. Du calcaire sous forme de gravier présentera une moins grande surface de contact avec le milieu acide du sol qu'un amendement en fine poudre, et neutralisera l'acidité d'autant plus lentement, si lentement que son utilité serait négligeable. La façon de calculer l'«indice granulométrique» de la chaux est illustrée au tableau 6; cet indice permet de juger de l'efficacité de la chaux en fonction de la finesse de ses particules.

Tableau 6 Indice granulométrique d'un amendement calcique : exemple de calcul

Grosseur des particules	% de l'échantillon	Coefficient d'efficacité	
Ne passant pas au tamis n° 10*	10	X 0,0	= 0
Passant aux tamis de n° 10 à 60	40	X 0,4	= 16
Passant au tamis n° 60	50	X 1,0	= 50
Indice granulométrique			= 66

** Un tamis Tyler n° 10 a une ouverture de mailles de 2,0 mm et un tamis n° 60 une ouverture de 0,25 mm.*

L'INDICE DE VALEUR AGRICOLE POUR COMPARER LES AMENDEMENTS CALCAIRES

On a besoin d'un outil combinant le pouvoir neutralisant et l'indice granulométrique si l'on veut comparer les diverses qualités de chaux trouvées sur le marché. En Ontario, on a créé à cet effet l'«indice de valeur agricole» qui se calcule ainsi :

$$\text{Indice de valeur agricole} = \frac{\text{pouvoir neutralisant X indice granulométrique}}{100}$$

On peut se servir de cet indice pour comparer l'aptitude relative de différentes chaux à neutraliser l'acidité du sol[1]. Une chaux ayant un indice de valeur agricole élevé a proportionnellement plus de valeur qu'une chaux à faible indice parce qu'on devra l'épandre en moindre quantité. Supposons deux qualités de chaux broyée, A et B, dont les indices de valeur agricole sont de 50 et de 80 respectivement; la dose de chaux A requise pour un sol particulier sera 80/50 X la dose requise de chaux B. La tonne de chaux A épandue sur une terre vaudra 50/80 X le prix de la chaux B.

[1]L'indice de valeur agricole n'indique pas la teneur en magnésium de la chaux. **Sur les sols pauvres en magnésium, il convient d'épandre de la chaux magnésienne (dolomitique).**

CALCUL DES DOSES RECOMMANDÉES

Les doses recommandées par les services d'analyse de sol de l'Ontario concernent une chaux dont l'indice de valeur agricole est de 75. Lorsqu'on connaît l'indice de la chaux dont on dispose, il est possible de calculer la dose nécessaire en appliquant la formule suivante :

$$\text{Dose recommandée selon l'analyse de sol} \times \frac{75}{\text{indice de valeur agricole de la chaux}} = \text{dose de chaux à épandre}$$

Par exemple, si l'analyse de sol recommande un chaulage à raison de 9 t/ha et que la source de chaux la plus avantageuse dont on dispose, par son rapport qualité-prix, possède un indice de valeur agricole de 90, la dose à épandre est la suivante : 9 X 75/90 = 7,5 t/ha.

Au moment de l'achat, il faut insister pour que le commerçant fournisse l'indice de valeur agricole de la chaux ou du moins l'information permettant de le calculer. Sans ces renseignements, il est impossible de déterminer la dose d'épandage nécessaire. En vertu de la loi, le commerçant doit fournir le pouvoir neutralisant et la finesse des particules de la chaux en question.

AMENDEMENTS CALCIQUES ET MAGNÉSIENS

Le calcaire proprement dit, qu'on appelle parfois «pierre à chaux», est une roche principalement composée de carbonate de calcium. Le calcaire dolomitique ou magnésien contient du carbonate double de calcium et de magnésium en fortes proportions et constitue, dans les sols acides, une bonne source de magnésium pour les plantes. En général, les amendements de magnésium les plus économiques et les plus efficaces dans les sols acides sont ceux de chaux magnésienne ou dolomitique comme le montrent les exemples illustrés aux tableaux 3 et 7. C'est pourquoi, la chaux magnésienne est la seule recommandée dans les sols où l'on cultive du tabac.

Tableau 7 Influence de la chaux dolomitique broyée et des engrais potassiques sur la teneur en magnésium de plants de maïs cultivés sur un loam sableux de pH 4,5*. (Chaux épandue et maïs échantillonné les 27 mai et 24 juin 1976, respectivement)

Chaux dolomitique	Potasse (K_2O) en kg/ha					
t/ha	0	45	90	134	180	moyenne
	Teneur en magnésium des plants (%)					
0	0,27	0,30	0,22	0,21	0,23	0,25
7	0,73	0,58	0,46	0,41	0,37	0,51
13	0,75	0,62	0,57	0,49	0,46	0,58
20	0,90	0,62	0,55	0,54	0,52	0,63
Moyenne	**0,66**	**0,52**	**0,47**	**0,41**	**0,40**	

** R.W. Johnston, Collège de technologie agricole de Ridgetown*

En Ontario, la «chaux liquide» fait l'objet de beaucoup de publicité; elle est parfois vendue à des prix trop élevés compte tenu de son pouvoir neutralisant réel. La chaux liquide est faite de roche calcaire finement broyée en suspension dans l'eau. Cette forme de chaux équivaut, du point de vue de sa disponibilité, à de la chaux en poudre très fine et aurait un indice granulométrique de 100. Toutefois, sa dilution dans l'eau résulte en un faible pouvoir neutralisant par unité de poids, et impose l'application de doses massives. Il faut souligner que les particules de chaux qui passent librement à travers un tamis n° 60 (0,25 mm d'ouverture de mailles) sont dites efficaces à 100 % et qu'une mouture plus fine n'améliore pas l'efficacité de la chaux.

Lorsque que l'on «cuit» le calcaire à très haute température, on obtient de la «chaux vive», composée d'oxyde de calcium (et de magnésium, pour un calcaire magnésien). En présence d'eau, la chaux vive prend la forme d'hydroxyde de calcium ou de magnésium et elle est appelée «chaux éteinte» ou «chaux hydratée». Par rapport au calcaire simplement broyé, la chaux vive et la chaux hydratée possèdent un pouvoir neutralisant et une solubilité plus élevés. Ces composés sont cependant caustiques et brûlent les plantes au contact. Lorsqu'on les utilise, on doit les épandre au moins un mois avant les semis. Ces deux formes d'amendement sont d'ordinaire nettement plus chers que le calcaire en poudre.

La marne, un autre amendement calcaire, est employée à l'occasion. Présente dans certains marécages, elle se compose de carbonate de calcium tendre qui se trouve en mélange avec des quantités variables d'argile et de matière organique. Il est généralement plus économique d'acheter du calcaire broyé que d'extraire la marne d'un marais, de la sécher puis de la broyer.

ABAISSEMENT DU pH

Il est possible d'abaisser le pH des sols accusant des valeurs inférieures à 7,0 (de les rendre plus acides) en y incorporant du soufre ou du sulfate d'aluminium. Toutefois, pour la plupart des cultures, cette mesure n'est pas nécessaire et de plus, elle rapproche d'autant plus le moment où un chaulage sera requis. Si le pH du sol est supérieur à 7,0, il est déconseillé et d'ailleurs presque impraticable d'abaisser le pH en raison de la très grande quantité de soufre et de sulfate d'aluminium qu'il faudrait utiliser.